

УДК 539.3

Ю. Пиндус*, О. Галушак*, А. Іванюк**

*Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна

**Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИНИ МСЕ В ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНІЙ ПОСТАНОВЦІ ЗА УМОВ ПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану (НДС) та розкриття у вістрі втомної тріщини після перевантаження розтягом з використанням моделювання методу скінченних елементів (МСЕ) за допомогою програмного комплексу ANSYS.

Моделювали чверть плоского зразка (з урахуванням умов симетрії) з центральною тріщиною в пружно-пластичній постановці, з використанням істинної діаграми деформування сплаву Д16Т. Відтворювали реальні умови попередньо виконаного експерименту [1] та характеристики сплаву за температури 293К. Навантаження прикладали до верхньої лінії (торця) моделі. Для моделювання закриття тріщини, що виникає внаслідок залишкових деформацій, контактних та стискувальних напружень у вістрі тріщини, на її берегах задавали контактні поверхні (використовували скінченні елементи CONTA172 і TARGE169). Таким чином відтворювали умови контакту берегів тріщини, що виникають у реальному зразку при її закритті. Розрахунки МСЕ проводили за умов плоского напруженого стану (plane stress), враховуючи ефект Баушінгера. Для побудови скінченноелементної сітки використовували елемент PLANE182. Він визначається чотирма вузлами з двома ступенями вільності в кожному вузлі, може приймати чотирикутну або трикутну форми. Елемент має властивості пластичності, гіперпружності, жорсткості, значних переміщень і деформацій.

При виборі оптимального розміру елементу скінченноелементної сітки використано результати дослідження, в якому проведено її адаптацію для моделювання напружено-деформованого стану у вістрі тріщини [2]. Встановлено, що оптимальний розмір елемента для моделювання РВТ є 10 мкм.

До зразка прикладали віднульове циклічне навантаження сталої амплітуди, яке створювало в ньому максимальне напруження бруто $\sigma_y = 83 \text{ МПа}$. Для стабілізації НДС у вістрі тріщини, її пророщували за цих умов на довжину $l=1$ мм, з розрахунковою швидкістю РВТ за цикл $dl/dN=1 \cdot 10^{-6}$ м/цикл, що відповідає КДВР при $K_{\max} = 15,6 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, після чого зразок перевантажували розтягом до досягнення в ньому напруження бруто $\sigma_y = 168,7 \text{ МПа}$. Потім зразок знову навантажували віднульовим циклічним навантаженням сталої амплітуди $\sigma_y = 83 \text{ МПа}$.

За результатами вимірювання розкриття тріщини МСЕ будували сімейство кривих залежності розкриття тріщини δ від прикладеного напруження бруто σ_y на різних відстанях тріщини від місця перевантаження. Окремі з них наведено на рис.1. Встановлено, що відразу після перевантаження розтягом максимальне розкриття зростає і лише при довжині тріщини 0,25 мм після перевантаження розкриття доходить до того ж рівня що до перевантаження (рис. 1 в,г), що якісно підтверджує ефект початкового прискорення швидкості РВТ відразу після перевантаження. При довжині

тріщини 1,2 – 1,3 мм після перевантаження досягається мінімальне значення розкриття тріщини (рис.1 д,е), що свідчить про максимальну затримку РВТ. На віддалі 3,4 – 3.6 мм після перевантаження (рис.1 є,ж) розкриття доходить до того ж рівня що до перевантаження розтягом, тобто швидкість РВТ досягає свого значення до перевантаження.

Для кількісної оцінки точності розрахунків, проводили інтегрування графіків одержаних при моделюванні та експериментальним шляхом за формулою Сімпсона [3].

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} (\sigma_0 + \sigma_n + 4(\sigma_1 + \sigma_3 + \dots + \sigma_{n-1}) + 2(\sigma_2 + \sigma_4 + \dots + \sigma_{n-2})). \quad (1)$$

де: h - крок інтегрування, $\sigma_0, \dots, \sigma_n$ - значення напруження σ_y точці n

Таким чином обчислювали площі обмежені кожною кривою. Для кожної пари графіків (експериментального - розрахунок) знаходили абсолютну і відносні похибки між результатами інтегрування. Виявлено, що максимальна відносна похибка становить 9.7%. Таким чином можна вважати, що модель, створена у програмному комплексі ANSYS задовільно відтворює НДС та поведінку втомної тріщини при її підростанні з урахуванням залишкових пластичних деформацій наведених циклом перевантаження.

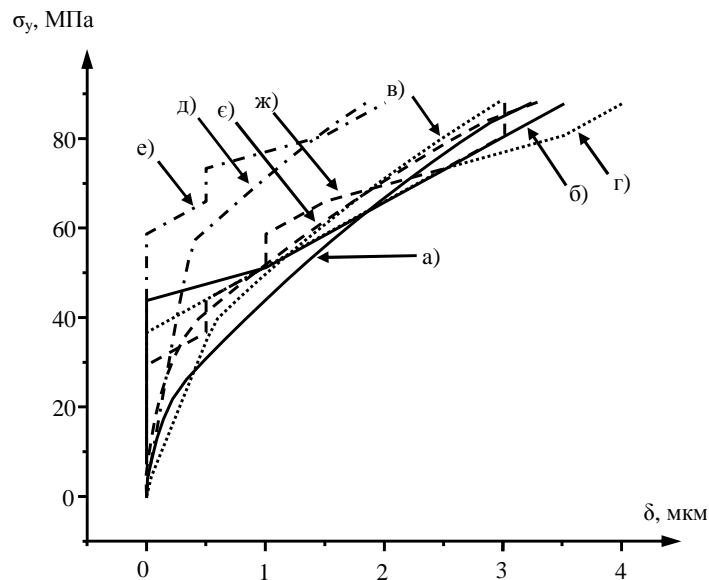


Рис. 1. Розкриття тріщини залежно від напруження брутто в зразку:

а) розрахунок МСЕ до перевантаження; б) експериментальні дані до перевантаження; в) розрахунок МСЕ на відстані 0.3 мм від місця перевантаження; г) експериментальні дані на відстані 0,3 мм після перевантаження; д) розрахунок МСЕ на відстані 1,2мм від місця перевантаження; е) експериментальні дані на відстані 1,2мм від місця перевантаження; є) розрахунок МСЕ відстані 3,6 мм після перевантаження; ж) експериментальні дані на відстані 3,6мм від місця перевантаження;

Література

1. Пиндус Ю.І., Методика дослідження ефекту закриття втомної тріщини за допомогою оптичного методу координатних сіток / Фостик В.Б. // Вісник ЖДТУ, 2007 р.- №3(42). - с25-35.
2. Пиндус Ю. Адаптація розмірів сітки скінченних елементів для моделювання напружено-деформованого стану у вістрі тріщини в пружно-пластичній постановці за умов плоскої деформації / Ю. І. Пиндус, О. М. Галушак // Збірник тез доповідей Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя механіко-технологічного факультету. - Тернопіль: ТНТУ. - 2011 С. 12-13.
3. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — 4-е изд. — М: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2006. — С. 122. — 636 с.